

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
14 juillet 2005 (14.07.2005)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2005/064271 A1

(51) Classification internationale des brevets⁷ :

G01C

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR2004/050729

(22) Date de dépôt international :

20 décembre 2004 (20.12.2004)

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

03 51167 22 décembre 2003 (22.12.2003) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : COM-
MISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE [FR/FR];
31-33 rue de la Fédération, F-75752 PARIS 15ème (FR).

(72) Inventeur; et

(75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : DAVID,
Dominique [FR/FR]; 22, chemin du Mollard, F-38640
CLAIx (FR).

(74) Mandataire : LEHU, Jean; BREVATOME, 3, rue du
Docteur Lancereaux, F-75008 PARIS (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

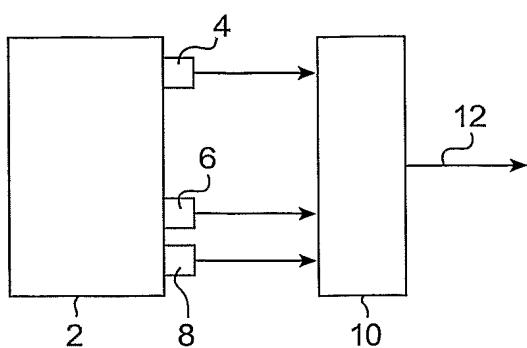
Publiée :

- avec rapport de recherche internationale
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

(54) Title: METHOD OF SENSING THE MOTION OF A SOLID, USING AN ABSOLUTE MEASUREMENT THAT IS ASSOCIATED WITH A MEASUREMENT CALCULATED BY DOUBLE INTEGRATION

(54) Titre : PROCEDE DE CAPTURE DU MOUVEMENT D'UN SOLIDE, UTILISANT UNE MESURE ABSOLUE ASSOCIEE A UNE MESURE PAR DOUBLE INTEGRATION



(57) **Abstract:** The invention relates to a method of sensing the motion of a solid, using an absolute measurement that is associated with a measurement calculated by double integration, which is intended, for example, for human body motion sensing. The inventive method comprises: a series of steps involving the measurement of the acceleration of the solid (2) and the double integration of said measurements in order to obtain successive values of a first translation of the solid, and a series of steps involving the absolute measurement of at least one second degree of freedom of the solid, namely a rotation. According to the invention, the rotation measurement is transformed into a translation measurement and said translation measurement is used to update the first translation.

(57) **Abrégé :** Ce procédé s'applique notamment à la capture des mouvements du corps humain et comprend une série d'étapes de

mesure de l'accélération du solide (2) et de double intégration de ces mesures pour obtenir des valeurs successives d'une première translation du solide et une série d'étapes de mesure absolue d'au moins un deuxième degré de liberté du solide, à savoir une rotation, et l'on transforme cette mesure de rotation en une mesure de translation et cette mesure de translation est utilisée pour recalculer la première translation.

WO 2005/064271 A1

PROCEDE DE CAPTURE DU MOUVEMENT D'UN SOLIDE, UTILISANT UNE MESURE ABSOLUE ASSOCIEE A UNE MESURE PAR DOUBLE INTEGRATION

DESCRIPTION

DOMAINE TECHNIQUE

La présente invention concerne un procédé 5 permettant de mesurer - on dit aussi capturer (en anglais « sense ») - le mouvement d'un objet ou, plus précisément, d'un solide, c'est-à-dire de mesurer les déplacements de ce solide.

On rappelle que tout déplacement d'un 10 solide se décompose en une translation et une rotation (mais peut se limiter à une simple translation ou à une simple rotation).

L'invention s'applique en particulier à la capture des mouvements du corps humain.

15 Elle trouve ainsi des applications par exemple dans le domaine sportif, le domaine médical, le cinéma, le multimédia et la réalité augmentée.

L'invention permet de capturer un mouvement 20 de façon fiable et peu coûteuse, même dans le cas d'un mouvement rapide d'une personne.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

On se reportera au document suivant :

25 [1] WO 03/085357A, demande internationale
numéro PCT/FR03/01025, déposée le 2 avril 2003,

« Dispositif de capture des mouvements de rotation d'un solide », invention de Dominique David et Yanis Caritu.

L'invention complète la technique qui est 5 décrite dans le document [1] et qui utilise un dispositif appelé « centrale d'attitude », comprenant au moins un capteur de position angulaire (de préférence au moins un accéléromètre et au moins un magnétomètre). L'invention permet d'accroître les 10 performances de cette technique, en particulier dans le cas de mouvements rapides.

On connaît en effet diverses techniques plus ou moins performantes pour déterminer le déplacement d'un objet mobile. On connaît en 15 particulier la méthode de double intégration à partir de mesures d'accélération, effectuées au moyen d'un ou de plusieurs accéléromètres.

Cette méthode de double intégration est mise en œuvre dans les systèmes de positionnement 20 appelés « systèmes inertIELS » et donne de bons résultats, même dans le cas de mouvements rapides ou, plus précisément, de mouvements dont la vitesse varie rapidement. Cependant, la double intégration de signaux fournis par des accéléromètres est une source de dérive 25 du positionnement.

Afin de limiter cette dérive, en particulier dans le domaine de l'aviation ou le domaine spatial, on est amené à utiliser des accéléromètres qui sont très performants mais malheureusement très 30 coûteux.

On connaît en outre la méthode de mesure absolue d'un mouvement, à partir d'un ou de plusieurs accéléromètres et d'un ou de plusieurs magnétomètres. Cette méthode n'est pas source de dérive mais permet 5 seulement de mesurer le mouvement d'un objet dont la vitesse varie lentement.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

La présente invention a pour but de 10 remédier aux inconvénients des méthodes connues de mesure du mouvement d'un solide, que l'on a mentionnées plus haut, à savoir la méthode de mesure absolue et la méthode de double intégration, en vue d'obtenir une méthode qui n'est pas source de dérive du 15 positionnement et peut être mise en œuvre pour étudier des mouvements dont la vitesse varie rapidement.

Selon un aspect particulier de l'invention, on combine la méthode de double intégration et la méthode de mesure absolue afin de recaler les mesures 20 fournies par la méthode de double intégration, au moyen des mesures fournies par la méthode de mesure absolue, ces dernières mesures étant prises en compte lorsque le solide dont on mesure le mouvement ralentit ou, plus précisément, lorsque la vitesse de ce solide varie 25 lentement.

De façon précise, la présente invention a pour objet un procédé de mesure du mouvement d'un solide, procédé dans lequel on mesure au moins une première translation (premier degré de liberté) de ce 30 solide, ce procédé comprenant une série d'étapes de mesure de l'accélération du solide et de double

intégration des mesures ainsi effectuées pour obtenir des valeurs successives de la première translation, ce procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend en outre une série d'étapes de mesure absolue d'au moins 5 un deuxième degré de liberté du solide, ce deuxième degré de liberté étant une rotation, à l'aide d'au moins un capteur de rotation, et en ce que l'on transforme cette mesure de rotation en une mesure de translation et cette mesure de translation est utilisée 10 pour recaler la première translation.

Dans la présente invention, on peut utiliser la mesure du deuxième degré de liberté, obtenue à cette étape, en tant que condition initiale pour obtenir, par double intégration, la valeur de la 15 première translation qui suit les valeurs précédemment obtenues de cette première translation.

Dans la présente invention, les étapes de mesure absolue et les étapes de mesure de l'accélération du solide peuvent être simultanées, 20 chaque étape de mesure absolue ayant ainsi lieu en même temps qu'une étape de mesure de l'accélération du solide.

De préférence, la transformation de la mesure de rotation en une mesure de translation utilise 25 des modèles cinétiques du solide et/ou de son mouvement, permettant d'établir des relations entre la rotation et la translation.

Le capteur de rotation est de préférence choisi parmi les accéléromètres et les magnétomètres 30 (et l'on mesure donc le deuxième degré de liberté à

l'aide d'au moins un accéléromètre et/ou d'au moins un magnétomètre).

5 Selon un mode de réalisation particulier de l'invention, la première translation est mesurée à l'aide d'un capteur de translation qui est aussi le capteur de rotation.

10 De préférence, on choisit un critère de lenteur du mouvement (plus précisément un critère de variation lente de la vitesse du solide) et, si le mouvement satisfait à ce critère après l'une des étapes de mesure du deuxième degré de liberté, on utilise la mesure du deuxième degré de liberté, obtenue à cette étape, pour recaler (en anglais « update ») la première translation.

15 Le critère de lenteur du mouvement peut être la situation d'une fonction de la norme de l'accélération du solide en deçà d'un seuil prédéfini (en anglais « predetermined »).

20 Cette fonction peut être cette norme elle-même.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description d'exemples de réalisation 25 donnés ci-après, à titre purement indicatif et nullement limitatif, en faisant référence aux dessins annexés, sur lesquels :

30 - la figure 1 illustre schématiquement un dispositif pour la mise en œuvre d'un exemple du procédé objet de l'invention, et

- les figures 2 et 3 illustrent schématiquement des exemples de l'invention.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

5 Dans un exemple de l'invention, on cherche à déterminer en permanence la position d'un objet, plus précisément d'un solide, en mesurant les valeurs des six degrés de liberté de ce solide.

10 Le dispositif (centrale d'attitude) décrit dans le document [1] permet de mesurer les trois degrés de liberté angulaires du solide. La présente invention permet de compléter ce dispositif connu par un dispositif inertiel, qui en étend donc les capacités.

15 Une originalité de la présente invention réside dans le type de couplage qu'elle propose, à savoir une technique utilisant un capteur absolu et une technique utilisant un capteur inertiel.

20 Le capteur absolu est la centrale d'attitude qui fournit des mesures absolues de positionnement angulaire du solide. Ces mesures sont exactes lorsque le solide est au repos ; mais elles sont susceptibles d'être entachées d'erreurs lorsque le solide subit des accélérations, les erreurs étant d'autant plus importantes que les accélérations sont 25 plus fortes.

25 Le capteur inertiel est constitué par un ou plusieurs accéléromètres dont la précision est aussi grande que possible. On peut éventuellement utiliser trois accéléromètres ayant chacun un axe de 30 sensibilité, les axes de sensibilité respectifs étant orthogonaux deux à deux, ou un accéléromètre ayant

trois axes de sensibilité orthogonaux deux à deux.

Le procédé de mesure est alors le suivant.

On calcule les données de translation du solide par une double intégration des signaux fournis par le ou les accéléromètres et l'on calcule les données de rotation à partir de la centrale d'attitude.

Cette centrale d'attitude est capable de déterminer si le mouvement en cours est rapide ou lent et donc si les valeurs qu'elle fournit sont exactes ou biaisées, par exemple par une évaluation de la valeur absolue de l'amplitude des mesures fournies par le ou les accéléromètres que comporte la centrale d'attitude.

Dans les phases de mouvement lent, les données de cette centrale d'attitude sont utilisées pour recaler le mouvement du solide.

Dans les phases de mouvement rapide, les signaux de sortie du ou des accéléromètres (qui sont de préférence de haute précision) sont intégrés deux fois et fournissent ainsi une réponse plus exacte que celle qui est fournie par la centrale d'attitude.

Il convient de noter que ce procédé ne couvre pas la capture de mouvements dans toute sa généralité. Il couvre par contre idéalement le cas de la capture des mouvements du corps humain et, plus généralement, du corps d'un vertébré, voire d'un assemblage de segments rigides mécaniquement articulés. Dans certains cas, ce procédé est également applicable quand un modèle a priori du mouvement du solide est connu, par exemple dans le cas d'un mouvement balistique.

Dans le cas du corps humain, on connaît la

posture complète du corps grâce à une conjonction de centrales d'attitude disposées sur les segments osseux. Cette mesure est entachée d'erreur en cas de mouvements rapides du corps.

5 Un procédé conforme à l'invention consiste alors à utiliser la double intégration dans les phases où les mouvements du corps sont rapides (ces phases étant en général courtes, car le corps ne peut effectuer que des mouvements périodiques) et à passer 10 en mode de recalage chaque fois que les accélérations des mouvements du corps deviennent faibles.

La figure 1 est une vue schématique d'un dispositif pour la mise en œuvre d'un procédé conforme à l'invention.

15 Ce dispositif permet de mesurer le mouvement d'un solide 2 et comprend :

- un ou plusieurs accéléromètres 4,
- un ou plusieurs accéléromètres 6 et/ou un ou plusieurs magnétomètres 8, et

20 - des moyens électroniques 10 prévus pour mémoriser et traiter, conformément à l'invention, les informations ou signaux fournis par le ou les accéléromètres 4 et par le ou les accéléromètres 6 et/ou le ou les magnétomètres 8, et pour mémoriser les 25 résultats du traitement.

Le ou les accéléromètres 4 ainsi que le ou les accéléromètres 6 et/ou le ou les magnétomètres 8 sont fixés au solide 2 dont on veut mesurer le mouvement. Les moyens électroniques 10 peuvent être 30 solidaires, ou non, de ce solide 2.

Les moyens électroniques 10 sont donc

prévus pour mettre en œuvre l'invention en coopérant avec le ou les accéléromètres 4 et avec le ou les accéléromètres 6 et/ou le ou les magnétomètres 8.

En particulier, ils coopèrent avec le ou les magnétomètres 4 pour mettre en œuvre une méthode de mesure par double intégration et avec le ou les accéléromètres 6 et/ou le ou les magnétomètres 8 pour mettre en œuvre une méthode de mesure absolue.

Sur la figure 1, la référence 12 symbolise une sortie des moyens électroniques 10, en laquelle on peut récupérer les résultats du traitement, par exemple en vue d'un affichage (en anglais « display ») de ces résultats.

On considère dans ce qui suit des exemples de l'invention, dans lesquels on exploite conjointement des données angulaires et des données accélérométriques.

Le premier exemple se rapporte à une double intégration permanente recalée (en anglais « updated »).

Chaque point de mesure est équipé d'un ensemble de capteurs, comprenant de 1 à 3 accéléromètres et éventuellement de 1 à 3 magnétomètres.

Lorsque l'on utilise trois accéléromètres ayant chacun un axe de sensibilité, on les dispose avantageusement de façon que leurs axes de sensibilité respectifs forment un trièdre trirectangle.

Il en est de même lorsque l'on utilise trois magnétomètres ayant chacun un axe de sensibilité.

Dans ce premier exemple, les données

d'accélération sont intégrées deux fois en permanence. Les signaux de sortie obtenus résultent donc de cette double intégration. Cependant, on sait que cette dernière est sujette à une dérive dont l'amplitude 5 dépend de la qualité du ou des accéléromètres utilisés.

Pour remédier à cet inconvénient, conformément à l'invention, on acquiert en parallèle, en permanence, les données de la centrale angulaire (accéléromètre(s) et éventuellement magnétomètre(s)).

10 Un indice de qualité de ces données angulaires est également calculé. Il s'agit d'une fonction de la norme $\|\mathbf{a}\|$ du vecteur accélération par rapport à la norme de l'accélération \mathbf{g} de la pesanteur, mesurée au repos, fonction qui peut être par exemple le rapport $\|\mathbf{a}\| / \|\mathbf{g}\|$.
15

Cet indice de qualité est utilisé en tant que critère de lenteur du mouvement ou, plus précisément, de lenteur de la variation de la vitesse de ce mouvement.

20 Lorsque le mouvement est suffisamment lent, ce que l'on détermine par exemple en comparant cet indice à un seuil prédéfini et en déterminant si l'indice est inférieur à ce seuil, alors les données angulaires sont utilisées pour calculer une position 25 résultant du mouvement du solide étudié.

Cette position sert alors de position de départ pour la période de double intégration suivante.

Si le mouvement demeure quasi-statique, un recalage est effectué au bout d'un intervalle de temps 30 défini par la précision que l'on attend des mesures, de façon que l'estimation de la dérive résultant de la

double intégration demeure inférieure, dans cet intervalle de temps, à la précision voulue.

Le deuxième exemple, que l'on décrit en faisant référence à la figure 2, se rapporte à une 5 méthode dite du « bras de levier variable ».

Sur la figure 2, on voit deux pièces rigides 14 et 16 qui sont articulées par tout moyen approprié 18. Par exemple, la pièce 14, la pièce 16 et leur articulation 18 sont respectivement un bras et 10 l'avant-bras et le coude correspondants.

Conformément à l'invention, l'avant-bras 16 est équipé de deux ensembles 20 et 22 espacés l'un de l'autre.

Chaque ensemble comporte de un à trois 15 accéléromètres et constitue un point de mesure.

Lorsqu'il comporte trois accéléromètres, ces derniers sont montés de façon que leurs axes de sensibilité forment un trièdre trirectangle. L'un au moins des deux points de mesure 20 et 22 comporte également trois 20 magnétomètres dont les axes de sensibilité forment un trièdre avantageusement trirectangle.

Lors d'un mouvement de rotation de l'avant-bras 16, du genre de celui qui est symbolisé par la flèche R sur la figure 2, les deux ensembles 20 et 22 25 enregistrent des accélérations différentes puisque l'accélération enregistrée par un ensemble dépend de la distance de ce dernier au centre de rotation, à savoir le coude 18 dans l'exemple.

La différence des accélérations est 30 utilisée pour évaluer la composante d'accélération après avoir éliminé la contribution de la pesanteur.

L'estimation de cette mesure est ensuite utilisée dans le calcul des angles de rotation (voir document [1]) en étant soustraite de l'accélération totale, mesurée par l'un des deux ensembles, qui est 5 alors pourvu de 6 capteurs (trois accéléromètres et trois magnétomètres). On accède ainsi à une mesure des angles, qui est débarrassée de la perturbation due à un mouvement rapide.

Tous ces calculs se font dans des moyens 10 électroniques de traitement 24 qui reçoivent les signaux fournis par les capteurs 20 et 22.

Le troisième exemple se rapporte à l'exploitation d'un modèle du mouvement.

Dans ce troisième exemple, on s'appuie sur 15 le fait que certains mouvements sont très limités en ce qui concerne le nombre de degrés de liberté. Par exemple, dans le cas du corps humain, une cuisse est quasiment limitée à un unique degré de liberté de rotation dans les phases de marche et de course.

20 Dans ce cas, le mouvement considéré peut être décrit par un seul paramètre, voire par une seule valeur de ce paramètre. La valeur maximale de l'accélération mesurée permet ainsi de connaître l'ensemble de la rotation.

25 Les considérations précédentes s'appuient sur des études physiologiques qui établissent de tels résultats.

30 Le procédé conforme à l'invention, que l'on met en œuvre dans ce troisième exemple, est alors le suivant.

Connaissant une position de départ

facilement identifiable, parce qu'il s'agit soit d'une position arrêtée, soit d'un rebroussement de rotation ou de translation, on mesure la valeur maximale de la norme du vecteur accélération dans la phase qui suit, 5 au moyen de trois capteurs dont les axes de sensibilité forment un trièdre trirectangle, jusqu'à ce que l'on identifie et l'on connaisse une nouvelle étape caractéristique.

On exploite l'ensemble de ces données pour 10 en extraire le paramètre nécessaire à la qualification de l'ensemble du mouvement. Cette étape n'est plus effectuée en temps réel, puisqu'elle nécessite de connaître l'ensemble du mouvement, mais avec un (léger) différé.

15

On donne dans ce qui suit d'autres exemples de l'invention.

On rappelle d'abord que les techniques de mesure de déplacement, qui sont fondées sur les 20 capteurs inertIELS, souffrent toutes du même défaut, à savoir d'une dérive des mesures, provenant de la double intégration de bruits d'origines diverses (notamment des bruits électroniques et des bruits physiologiques), bruits qui s'ajoutent au signal à mesurer.

25 Selon un aspect de la présente invention, on résout ce problème à l'aide d'une technique fondée sur un dispositif connu par le document [1], permettant de mesurer des angles de façon absolue, au moyen de capteurs d'inclinaison et de capteurs de champ 30 magnétique.

L'originalité de cette technique repose sur

la mise en oeuvre des trois modes opératoires suivants :

- mesure absolue d'angles au moyen d'un ou de plusieurs accéléromètres et/ou d'un ou de plusieurs 5 magnétomètres,

- utilisation de modèles comportementaux (voir l'exemple ci-dessous du corps humain), permettant de relier des angles, qui sont mesurés de façon absolue, à des translations effectives dans l'espace du 10 solide mobile (par exemple une main), et

- calcul de déplacements par double intégration de signaux issus d'accéléromètres ayant de préférence une haute précision.

A la mise en oeuvre conjointe de ces trois 15 modes opératoires, il est en outre préférable d'ajouter une méthode appropriée de fusion des données recueillies, qui est exposée ci-après.

Cette méthode est en fait analogue au procédé de fusion de données décrit dans le document 20 [1]. La complexité de ce cas provient du fait que, ici, on autorise un mouvement suffisamment rapide pour qu'il introduise une composante d'accélération se superposant à la gravité. Cette composante d'accélération ajoute 3 inconnues supplémentaires (selon les 3 axes). Mais les 25 accéléromètres de haute précision apportent aussi une information supplémentaire.

L'algorithme est le suivant :

(a) on prend comme état du mouvement l'état 30 calculé au pas précédent (position, vitesse, accélération),

(b) on en déduit les valeurs de mesure

attendues en sortie des capteurs,

5 (c) à l'aide d'une technique d'optimisation mathématique classique (par exemple la méthode de descente de gradient ou des méthodes analogues plus récentes), on corrige les valeurs d'état initiales du mouvement, et

(d) on retourne à l'étape (a) jusqu'à ce que les valeurs estimées en sortie des capteurs soient suffisamment proches des valeurs réelles mesurées.

10 On donne dans ce qui suit un exemple de l'invention, relatif à la capture des mouvements du corps humain, à six degrés de liberté.

15 Cet exemple est schématiquement illustré par la figure 3. Il est limité au bras dans ce qui suit mais généralisable à l'ensemble du corps.

Sur la figure 3, les références 26, 28, 30, 32 et 34 représentent respectivement l'épaule, le bras, le coude, l'avant-bras et la main.

20 Les positions initiale et finale de la main ont respectivement les références 36 et 38.

25 Le mouvement de la main, qui effectue une translation verticale d'amplitude D , se traduit par une rotation d'angle α autour du coude et éventuellement, selon l'amplitude de la translation, par une autre rotation autour de l'épaule.

Au lieu de mesurer directement D , on peut donc mesurer α . Connaissant la longueur r de l'avant-bras, on en déduit l'amplitude D de la translation.

30 Cette technique conforme à l'invention présente l'avantage de ne reposer que sur des mesures

absolues : elle est donc exempte de dérives.

Il convient de noter que cette technique utilise entre autres un ou plusieurs accéléromètres (fixés à l'avant-bras mais non représentés) pour 5 mesurer l'angle α . Cela suppose que de tels capteurs mesurent la pesanteur et permettant donc de connaître leurs inclinaisons respectives par rapport à la verticale.

Dans le cas d'un mouvement rapide, le ou 10 les accéléromètres mesurent en plus l'accélération résultant d'un tel mouvement, de sorte que la mesure d'angle est faussée.

Une technique connue par le document [1] permet de résoudre partiellement ce problème.

15 Elle consiste à diminuer la contribution du ou des accéléromètres au profit du ou des magnétomètres dans le calcul du ou des angles. Mais cette technique n'est que partiellement efficace et dépend du mouvement effectué.

20 Une technique proposée dans la présente invention est capable de compléter la précédente et n'est pas limitée par le type de mouvement permis.

Cette technique est exposée ci-après.

Dès que l'on détecte un mouvement rapide 25 (il suffit pour ce faire de calculer la norme du vecteur accélération)

- on calcule par double intégration le déplacement du capteur, en prenant pour point de départ l'état du solide mobile (l'avant-bras dans l'exemple) 30 lors du début de la phase rapide,

- on corrige simultanément une éventuelle

dérive, en fusionnant les données magnétométriques, et - dès que le mouvement ralentit, on repasse en mode absolu.

On fait ainsi disparaître une éventuelle 5 dérive qui est susceptible d'apparaître pendant la phase d'intégration.

La fusion des données magnétométriques consiste à utiliser, conjointement à la double intégration, une estimation du mouvement rapide 10 utilisant les seuls magnétomètres. Cette dernière technique a été décrite plus haut (diminuer la contribution du ou des accéléromètres au profit du ou des magnétomètres dans le calcul du ou des angles).

D'une part, la double intégration fournit 15 en théorie le mouvement complet, mais elle est sujette à dérive.

D'autre part, les magnétomètres fournissent une estimation partielle (excluant les rotations autour de l'axe du champ terrestre) mais non sujette à dérive.

20 Une fusion possible consiste à estimer le mouvement à partir de la double intégration, à en déduire des mesures magnétiques estimées, et à utiliser la différence entre ces dernières et les mesures magnétiques réelles pour corriger le mouvement estimé 25 par une technique de type "descente de gradient".

De plus, on peut mettre en oeuvre un algorithme de fusion entre la méthode de double intégration et la méthode de mesure absolue, en passant de l'une à l'autre non pas de façon discontinue mais 30 graduellement, en diminuant progressivement la contribution absolue des accéléromètres et en

augmentant progressivement l'influence de la double intégration lorsque le mouvement accélère, et inversement en phase de décélération.

5 Pour ce faire (diminution et augmentation progressives), on procède par exemple de la façon exposée ci-après.

On estime l'état du mobile (position, vitesse, accélération) à partir du dernier état connu et de la double intégration des accéléromètres de haute 10 précision. On en déduit des estimations des données magnétométriques et accélérométriques du système de mesure absolue des angles (centrale d'attitude). On calcule une distance entre ces estimations et les 15 mesures réelles. On corrige le mouvement estimé en appliquant une méthode de type "descente de gradient".

La correction en question est paramétrée : elle est d'autant plus importante que le mouvement est lent, le critère étant par exemple le rapport de la norme du vecteur accélération à la norme de g , rapport 20 qui a été mentionné plus haut.

Ainsi, un mouvement très lent n'utilise pas les informations provenant de la double intégration, alors q'un mouvement très rapide les utilise exclusivement.

25 L'invention présente tous les avantages de la technique qui est décrite dans le document [1] :

- elle peut être mise en œuvre de façon peu coûteuse,
- elle ne nécessite aucun équipement 30 extérieur, tels que des sources magnétiques ou des caméras, et

- elle peut être mise en œuvre avec des algorithmes robustes.

De plus, l'invention conduit à des mesures fiables même dans le cas de mouvements rapides.

5 En outre, la présente invention peut être mise en œuvre avec une centrale d'attitude dont la précision angulaire est inférieure ou égale à 1° et avec des accéléromètres à au moins 10 bits (avantageusement de 14 à 16 bits).

10 On précise que le critère de « lenteur du mouvement », que l'on a mentionné plus haut, est fonction de la précision que l'on veut obtenir sur le mouvement. Un but de l'invention étant de séparer l'accélération du solide de l'accélération de la pesanteur, tant que la norme de l'accélération du 15 solide reste inférieure à $\frac{1}{10} \|\mathbf{g}\|$ (peu différent de 1m/s^2), le mouvement sera considéré comme lent et le procédé mènera à une précision acceptable.

REVENDICATIONS

1. Procédé de mesure du mouvement d'un solide (2, 16, 32), procédé dans lequel on mesure au moins une première translation de ce solide, ce procédé 5 comprenant une série d'étapes de mesure de l'accélération du solide et de double intégration des mesures ainsi effectuées pour obtenir des valeurs successives de la première translation,
ce procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend en 10 outre une série d'étapes de mesure absolue d'au moins un deuxième degré de liberté du solide, ce deuxième degré de liberté étant une rotation, à l'aide d'au moins un capteur de rotation (6, 8), et en ce que l'on transforme cette mesure de rotation en une mesure de 15 translation et cette mesure de translation est utilisée pour recaler la première translation.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel on utilise la mesure du deuxième degré de 20 liberté, obtenue à cette étape, en tant que condition initiale pour obtenir, par double intégration, la valeur de la première translation qui suit les valeurs précédemment obtenues de cette première translation.

25 3. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, dans lequel chaque étape de mesure absolue a lieu en même temps qu'une étape de mesure de l'accélération du solide (2, 16, 32).

30 4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel la transformation de

la mesure de rotation en une mesure de translation utilise des modèles cinétiques du solide et/ou de son mouvement, permettant d'établir des relations entre la rotation et la translation.

5

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel le capteur de rotation est choisi parmi les accéléromètres (6) et les magnétomètres (8).

10

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel la première translation est mesurée à l'aide d'un capteur de translation qui est aussi la capteur de rotation.

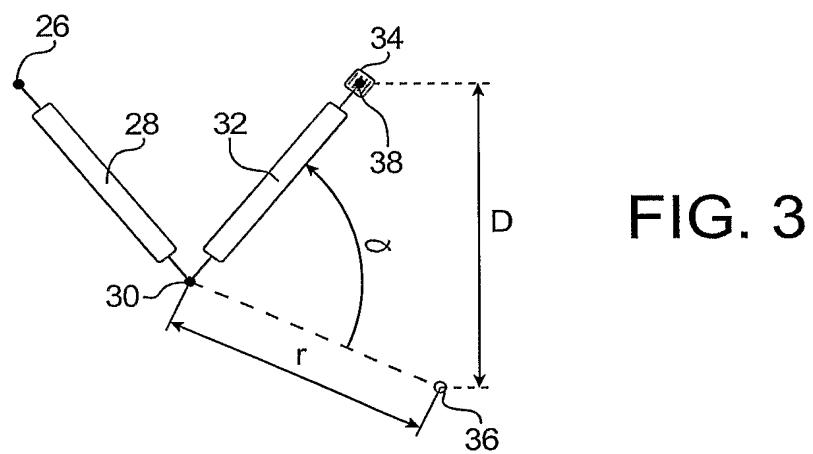
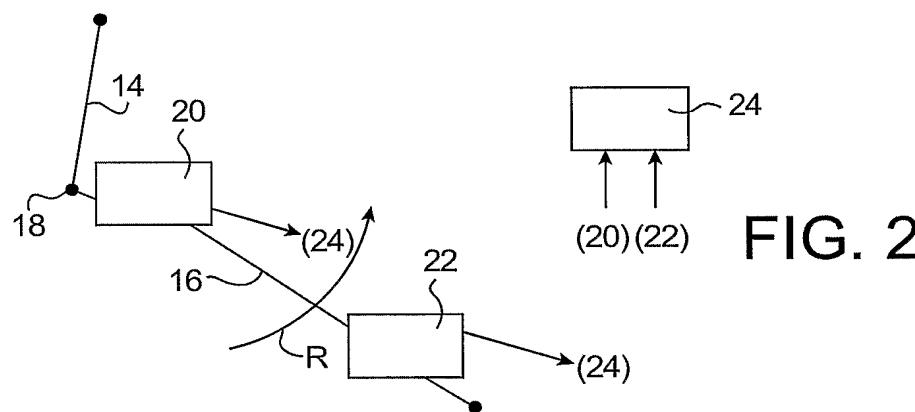
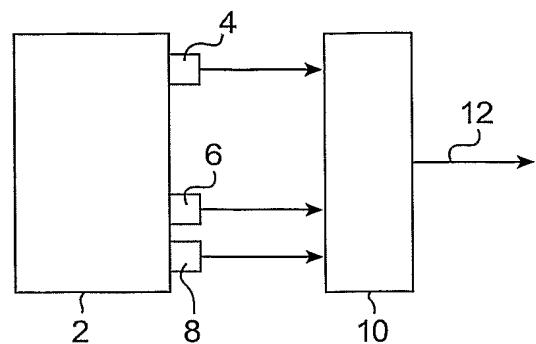
15

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel on choisit un critère de lenteur du mouvement et, si le mouvement satisfait à ce critère après l'une des étapes de mesure du deuxième degré de liberté, on utilise la mesure du deuxième degré de liberté, obtenue à cette étape, pour recalier la première translation.

8. Procédé selon la revendication 7, dans lequel le critère de lenteur du mouvement est la situation d'une fonction de la norme de l'accélération du solide (2, 16, 32) en deçà d'un seuil prédéfini.

9. Procédé selon la revendication 8, dans lequel la fonction de la norme de l'accélération du solide (2, 16, 32) est cette norme elle-même.

1 / 1



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/FR2004/050729A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G01C21/16 G01C19/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 G01C G01P

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 5 645 077 A (FOXLIN ERIC M) 8 July 1997 (1997-07-08) column 6, line 20 - line 58 column 7, line 11 - line 28 column 11, line 23 - line 38 ----- US 5 819 206 A (HORTON ET AL) 6 October 1998 (1998-10-06) column 2, line 16 - line 53 column 5, line 26 - column 6, line 21 column 7, line 29 - line 37 -----	1-9
Y	US 4 119 212 A (FLEMMING ET AL) 10 October 1978 (1978-10-10) column 1, line 29 - line 36 -----	1-9
A	----- -/-	4

 Further documents are listed in the continuation of box C. Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 4 May 2005	Date of mailing of the international search report 19/05/2005
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Rabenstein, W

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/FR2004/050729

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 655 301 A (ASEA BROWN BOVERI AB) 31 May 1995 (1995-05-31) column 6, line 17 – column 7, line 22 -----	4
A	US 2003/028340 A1 (BRUNSTEIN ETIENNE) 6 February 2003 (2003-02-06) page 1, paragraph 20 – paragraph 22 page 2, paragraph 35 – paragraph 37 page 3, paragraph 60 – paragraph 64 -----	1-3,5-9
A	FR 2 838 185 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE) 10 October 2003 (2003-10-10) cited in the application the whole document -----	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR2004/050729

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)		Publication date
US 5645077	A	08-07-1997	US	2003023192 A1		30-01-2003
			US	6162191 A		19-12-2000
			US	6361507 B1		26-03-2002
			US	5807284 A		15-09-1998
US 5819206	A	06-10-1998	US	5615132 A		25-03-1997
US 4119212	A	10-10-1978	NONE			
EP 0655301	A	31-05-1995	SE	501867 C2		12-06-1995
			DE	69411130 D1		23-07-1998
			DE	69411130 T2		11-02-1999
			EP	0655301 A1		31-05-1995
			ES	2119946 T3		16-10-1998
			JP	7186073 A		25-07-1995
			SE	9303757 A		16-05-1995
			US	5687293 A		11-11-1997
US 2003028340	A1	06-02-2003	FR	2826447 A1		27-12-2002
			DE	10228639 A1		02-01-2003
			GB	2378765 A ,B		19-02-2003
FR 2838185	A	10-10-2003	FR	2838185 A1		10-10-2003
			AU	2003236880 A1		20-10-2003
			EP	1492998 A2		05-01-2005
			WO	03085357 A2		16-10-2003

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No
PCT/FR2004/050729

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
CIB 7 G01C21/16 G01C19/00

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 G01C G01P

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	US 5 645 077 A (FOXLIN ERIC M) 8 juillet 1997 (1997-07-08) colonne 6, ligne 20 - ligne 58 colonne 7, ligne 11 - ligne 28 colonne 11, ligne 23 - ligne 38 -----	1-9
Y	US 5 819 206 A (HORTON ET AL) 6 octobre 1998 (1998-10-06) colonne 2, ligne 16 - ligne 53 colonne 5, ligne 26 - colonne 6, ligne 21 colonne 7, ligne 29 - ligne 37 -----	1-9
A	US 4 119 212 A (FLEMMING ET AL) 10 octobre 1978 (1978-10-10) colonne 1, ligne 29 - ligne 36 ----- -/-	4



Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents



Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

° Catégories spéciales de documents cités:

- "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- "&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

4 mai 2005

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

19/05/2005

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Rabenstein, W

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No
PCT/FR2004/050729

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	EP 0 655 301 A (ASEA BROWN BOVERI AB) 31 mai 1995 (1995-05-31) colonne 6, ligne 17 - colonne 7, ligne 22 -----	4
A	US 2003/028340 A1 (BRUNSTEIN ETIENNE) 6 février 2003 (2003-02-06) page 1, alinéa 20 - alinéa 22 page 2, alinéa 35 - alinéa 37 page 3, alinéa 60 - alinéa 64 -----	1-3,5-9
A	FR 2 838 185 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE) 10 octobre 2003 (2003-10-10) cité dans la demande le document en entier -----	1

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

 Demande Internationale No
 PCT/FR2004/050729

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication		Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5645077	A	08-07-1997	US	2003023192 A1 US 6162191 A US 6361507 B1 US 5807284 A	30-01-2003 19-12-2000 26-03-2002 15-09-1998
US 5819206	A	06-10-1998	US	5615132 A	25-03-1997
US 4119212	A	10-10-1978		AUCUN	
EP 0655301	A	31-05-1995	SE DE DE EP ES JP SE US	501867 C2 69411130 D1 69411130 T2 0655301 A1 2119946 T3 7186073 A 9303757 A 5687293 A	12-06-1995 23-07-1998 11-02-1999 31-05-1995 16-10-1998 25-07-1995 16-05-1995 11-11-1997
US 2003028340	A1	06-02-2003	FR DE GB	2826447 A1 10228639 A1 2378765 A ,B	27-12-2002 02-01-2003 19-02-2003
FR 2838185	A	10-10-2003	FR AU EP WO	2838185 A1 2003236880 A1 1492998 A2 03085357 A2	10-10-2003 20-10-2003 05-01-2005 16-10-2003